

COMPARACIÓN ENTRE EL TRANSPORTE EÓLICO TEÓRICO Y REAL EN LA DUNA DE VALDEVAQUEROS (CÁDIZ)

M. Navarro (1), J.J. Muñoz-Pérez (1), J. Román-Sierra (1) y G. Gómez-Pina (2)

(1) Dept. Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro, s/n. E-mail: marina.navarro@uca.es; juanjose.munoz@uca.es; jorge.roman@uca.es

(2) Demarcación de Costas Andalucía-Atlántico. C/ Marianista Cubillo, 7. Cádiz. E-mail: ggomez@mma.es

Resumen

La duna de Valdevaqueros se caracteriza por su elevada movilidad y capacidad de transporte sedimentario, cuyos efectos suponen un reto constante para el conocimiento de su dinámica eólica y el control de su avance.

A pesar de que existen varias formulaciones clásicas para el cálculo del transporte potencial de sedimentos, se desconoce en qué grado éstas se ajustan a la realidad. Para ello, se hace necesario el estudio de la tasa real de transporte eólico de la duna de Valdevaqueros, mediante la colocación de trampas de arena y anemómetros. Planteando la calibración de la ecuación de Bagnold, nos permitirá obtener una relación más precisa entre la capacidad de transporte teórica y la real hallada para dicha duna.

Palabras clave: tasa de transporte eólico, calibración de la ecuación de Bagnold.

Abstract

Valdevaqueros dune is characterized by a high sand drift potential and mobility, which mean a constant challenge for the aeolian dynamics knowledge and the dune advance control.

Besides the classic transport rates formulations, we actually do not know how they fit to the reality. Therefore, a study about Valdevaqueros real transport rates based on sand traps and anemometers is needed. A calibration of the well-known Bagnold's equation will provide a more accurate relation between the theoretical sand transport rate and the real one obtained in this case.

Key words: aeolian transport rate, Bagnold's equation calibration.

1. INTRODUCCIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

Las sistemas dunares pueden ser clasificados como activos (móviles) o estables, principalmente en función de la cobertura vegetal, la fuerza del viento o el impacto antrópico (Yizhaq et al., 2009).

A nivel mundial, algunas dunas costeras ya se han estabilizado o fijado por vegetación debido a un descenso en la intensidad del viento (Martinho et al., 2010), a la eliminación del impacto humano (Tsoar y Blumberg, 2002), o incluso al aumento de la cobertura vegetal, ya sea de manera artificial (Gómez-Pina et al., 2002) o natural, como el favorecido por una disminución de la población de conejos (Ranwell, 1960).

Por otra parte, no es la primera vez que algunos campos dunares de elevada movilidad amenazan con invadir asentamientos urbanos (Avis, 1989; Hertling y Lubke, 1999). En estos casos, se hace necesaria la estabilización dunar para controlar así el movimiento de las arenas hacia el interior de áreas desarrolladas (Coastal Engineering Manual, 2002).

En España, un ejemplo de esto puede hallarse en la duna de Valdevaqueros (Fig. 1), situada a 10 km del estrecho de Gibraltar, en el término municipal de Tarifa.



Fig. 2. Localización del área de estudio.

Se trata de una duna transgresiva de grandes dimensiones (cerca de 40 metros de altura) sujeta a intensos temporales de levante procedentes del estrecho (Muñoz-Pérez et al., 2009). A pesar de las numerosas actuaciones (extracciones de arena, sistemas de captación y plantaciones) el imparable avance de la duna provoca desde hace décadas el movimiento de sus arenas sobre la única carretera local que comunica el poblado de Punta Paloma con el resto de poblaciones (Román-Sierra et al., 2004) (Fig. 2).



Fig. 2. Fotografía aérea actual de la duna de Valdevaqueros. Las numerosas instalaciones de captadores de arena han sido una constante desde hace décadas para evitar la invasión de las arenas hacia la carretera de Punta Paloma.

Es por ello que resulta de suma utilidad la determinación de la capacidad de transporte eólico que alberga dicha duna, ya que permitiría estimar con antelación los costes de mantenimiento y restauración dunar, imprescindibles hasta la fecha para satisfacer las necesidades tanto ambientales como socio-económicas de la zona.

2. METODOLOGÍA

A lo largo de la historia se han utilizado varias formulaciones con el fin de cuantificar las tasas de transporte teóricas para sistemas dunares, desarrolladas por Bagnold (1941), Kawamura (1951), Lettau y Lettau (1978), etc. Todos ellos inciden en que la tasa de transporte es directamente proporcional al cubo de la velocidad de fricción del viento (u_*), calculada a partir de un perfil vertical de vientos obtenido

por datos de la estación meteorológica más cercana, tal como se observa en la ecuación de Bagnold:

$$q_b = C \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot u_*^3$$

Donde d es el tamaño de grano obtenido in situ, D diámetro de referencia (0.25 mm), ρ_a es la densidad del aire, igual a 1,225 kg/m³ y g es la aceleración de la gravedad.

Asimismo, la velocidad de corte de inicio del movimiento o velocidad de fricción umbral (u_{*t}) para sedimentos no cohesionados se obtenido a partir de la siguiente ecuación de Bagnold:

$$u_{*t} = A \cdot \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_a)}{\rho_a} \cdot g \cdot d}$$

Siendo g es la aceleración debido a la gravedad, ρ_s es la densidad de los granos (equivalente a 2.650 kg/m³), ρ_a es la densidad del aire (1,23 kg/m³) y A es un coeficiente igual a 0,1 para tamaños de grano mayor que 0.1 mm.

Por último, todas estas fórmulas introducen un coeficiente de calibración (en este caso C), dependiendo de la granulometría y clasificación de las arenas. En la fórmula anterior, este valor puede variar entre 1,5 y 3,5, lo cual es susceptible de modificar el resultado de la tasa de transporte de forma significativa.

Con el objetivo de establecer una relación entre el transporte real y el transporte teórico, se ha llevado a cabo la instalación de una trampa de arena en tres puntos característicos del perfil dunar de Valdevaqueros (pie de duna, barlovento y cresta) durante un temporal de levante de gran intensidad. Se han realizado análisis granulométricos para cada zona, así como para el sedimento recogido a diferentes alturas por la trampa. De este modo, se ha planteado la calibración de la ecuación de transporte sedimentario de Bagnold

para el caso de dicha duna calculando un valor promedio para cada una de estas tres zonas características del perfil, de modo que se obtiene una expresión general para el transporte en todo el perfil:

$$\text{Transporte real} = K \cdot \text{Transporte teórico}$$

Además, para el cálculo del transporte teórico, se han considerado tanto los datos de viento procedentes de la estación meteorológica de Tarifa como los obtenidos in situ con un anemómetro colocado a 1,5 m de altura junto a la trampa de arena.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los volúmenes de sedimento extraídos de la trampa de arena (Fig. 2), nos han permitido establecer una correlación entre las tasas de transporte reales obtenidas in situ y las tasas de transporte teóricas calculadas a partir de diferentes formulaciones, teniendo en cuenta que la cantidad de sedimento retenido por la trampa en la cresta ha sido significativamente mayor que en el resto de morfologías (del orden de kg/h) y el diámetro medio de grano hallado se encuentra cercano a los 0,30 mm.

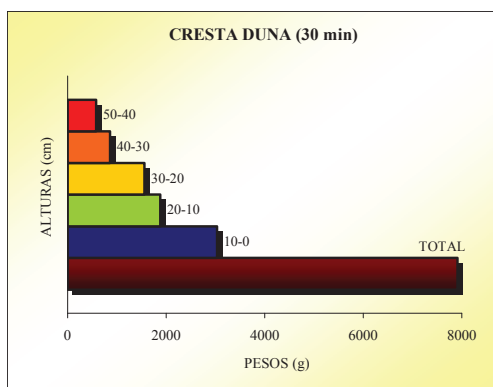


Fig. 2. Volumen de sedimento recogido a diferentes alturas por la trampa de arena en la cresta dunar durante 30 minutos.

De este modo, es posible hallar una calibración de la expresión de transporte sedimentario anteriormente mencionada que, junto con la velocidad del viento in situ, nos permite ajustar los resultados teóricos de la ecuación de transporte a

un caso práctico como el de la duna de Valdevaqueros. Así, previendo cómo va a ser la dinámica eólica, se logra establecer una gestión más adecuada y económicamente más rentable.

REFERENCIAS

- Avis, A.M. (1989). A review of coastal dune stabilization in the Cape Province of South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 18, 1.1, 55-68.
- Bagnold, R.A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Chapman Hall, London, 265 pp.
- Coastal Engineering Manual (2002). Part III. Chapter 4. Wind-Blown Sediment Transport, 1-79 (<http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>).
- Gómez-Pina, G., Muñoz-Pérez, J.J., Ramírez, J.L. y Ley, C. (2002). Sand dune management problems and techniques. *Journal of Coastal Research*, Special Issue on Coastal Dunes, 325-332.
- Hertling, U.M. y Lubke, R.A. (1999). Use of *Ammophila arenaria* for Dune Stabilization in South Africa and Its Current Distribution—Perceptions and Problems. *Environmental Management* 24 (4), 467-482.
- Kawamura, R. (1951). Study on sand movement by wind. *Rep. Inst. Sci. Tech., Univ. Tokyo*, 5(1-2) (en Japonés).
- Lettau, K. y Lettau, H.H. (1978). Experimental and micro-meteorological field studies of dune migration. In *Exploring the World's Driest Climate*. IES report, vol. 101, 110-147.
- Martinho, C.T., Hesp, P.A. y Dillenburg, S.R. (2010). Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology* 117, 14-32.
- Muñoz-Pérez, J.J., Navarro, M., Román-Sierra, J., Tejedor, B., Rodríguez, I. y Gómez-Pina, G. (2009). Long-term evolution of a transgressive migrating dune using reconstruction of the EOF method. *Geomorphology* 112, 167-177.
- Ranwell, D.S. (1960). Newborough Warren, Anglesey: III. Changes in the Vegetation on Parts of the Dune System After the Loss of Rabbits by Myxomatosis. *Journal of Ecology*, 48(2), 385-395.
- Román-Sierra, J., Navarro Pons, M., Muñoz-Pérez, J.J., Gómez-Pina, G. y Fages Antiñolo, L. (2004). Ecosistemas dunares en la provincia de Cádiz. *Estabilizaciones*

- en Bolonia y Valdevaqueros, T.M. Tarifa. Revista de Obras Públicas 151 (3450), 65-76.
- Tsoar, H. y Blumberg, D.G. (2002). Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. Earth Surface Processes and Landforms 27 (11), 1147-1161.
- Yizhaq, H., Ashkenazy, Y. y Tsoar, H. (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. Journal of Geophysical Research- Earth Surface 114, F01023.